

## METHOD OF ANISOTROPICALLY ETCHING SUBSTRATE

Publication number: JP2000323454 (A)

Publication date: 2000-11-24

Inventor(s): PANDUMSOPORN TAMARAK; YU KEVIN; FELDBAUM  
MICHAEL; PUECH MICHEL

Applicant(s): CIT ALCATEL

Classification:

- International: C23F4/00; H01L21/302; H01L21/3065; C23F4/00;  
H01L21/02; (IPC1-7): C23F4/00; H01L21/3065

- European: H01L21/3065B

Application number: JP20000055248 20000301

Priority number(s): US19990295100 19990421

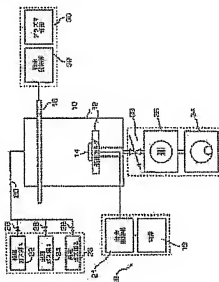
Also published as:

EP1047122 (A2)  
EP1047122 (A3)  
EP1047122 (B1)  
US2001044213 (A1)  
US6383938 (B2)

more &gt;&gt;

Abstract of JP 2000323454 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable etching with a high aspect ratio and a high selectivity by stimulating a mixed gas composed of an etching gas and a passivation gas with a low-power electromagnetic radiation, applying a high bias voltage, stimulating the mixed gas with a high-power electromagnetic radiation, and applying a low bias voltage to a substrate. **SOLUTION:** A mixed gas composed of an etching gas and a passivation gas is fed in a chamber 10, a comparatively low RF power is applied from a power source 30 to form a plasma, and a bias voltage is given from an oscillator 18 on a substrate to form a comparatively high electric field. After 10 to 100 sec for example, the power source 30 is switched to a comparatively high power to provide a high energy stimulated state of a plasma, the bias potential generated by the oscillator 18 on the substrate lowers to a comparatively low level, a protective polymer layer 46 of a specified thickness is formed on the walls of trenches after 0.5 to 3 sec for example, and the polymer layer in the trench bottoms is stripped by the impact of anisotropic ions accelerated by the high bias potential during etching.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-323454

(P2000-323454A)

(43)公開日 平成12年11月24日(2000.11.24)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> 識別記号

H01L 21/3065

HC23F 4/00

FI

H O 1 L 21/302

C 2 3 F 4/00

チーアット\* (参考)

F

 $\Delta$ 

審査請求 未請求 請求項の数14 OL 外国語出願 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-55248(P2000-55248)

(22) 印刷日 平成12年3月1日(2000.3.1)

(31)優先權主張番号 295100

(32)優先日 平成11年4月21日(1999.4.21)

(33)優先權主張國 米國 (US)

(71)出願人 391030332

アルカテル

フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ

エテイ 54

(72)発明者 タマラク・バンドハンソボルン

アメリカ合衆国、カリフォルニア・94538、

フリーモント、セネカ・パーク・ループ・

4985

(74) 代理人 100062007

弁理士 川口 義雄 (外2名)

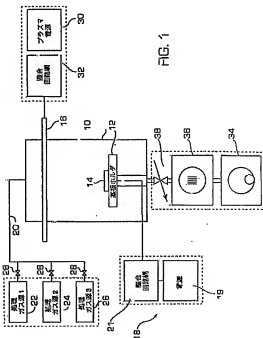
[最終頁に続く](#)

(54)【発明の名称】 基板の異方性エッチング方法

(57) 【要約】

【課題】 マスクを通して横方向に規定されたくぼみ構造を与えるためにプラズマを使用する、シリコンのプラズマエッチング方法を提供する。

【解決手段】 この方法は、一方できわめて大きいエッチング速度とマスクに関連する高い選択性とは達成しながら、プラズマのパラメータ変化に混合して、よく制御された陽性エッチングを生じ、燃えガスは、チャンバが排気されたのち真空チャンバに導入され、プラズマがチャンバ内に発生する。基板の表面はプラズマに晒される。電源は、プラズマ放電のために用いられる。統合制御システムが、プラズマ放電電力および基板のバイアス電圧のレベル調整のために用いられる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン基板をエッチングするための異方性エッチング方法であって、エッチングガスとパッシベーションガスとを含んでいる混合ガスを、エッチングすべきシリコン基板を備えるチャンバ中に導入する導入ステップと、

第1の時間期間中、前記基板の表面から材料を除去し、それにより露出した表面を得るように、励起電力および基板バイアスを制御することにより、前記混合ガスの存在下で前記基板をエッチングするエッチングステップと、

第2の時間期間中、前記露出した表面をポリマー層で被覆するように、励起電力および基板バイアスを制御することにより、前記混合ガスの存在下で前記基板をパッシベーションするパッシベーションステップであって、前記エッチングステップ中およびパッシベーションステップ中、前記混合ガスが同じであるパッシベーションステップと、前記エッチングステップを繰り返すステップとを含むエッチング方法。

【請求項2】 さらに、前記パッシベーションステップを繰り返すステップを含む、請求項1に記載のエッチング方法。

【請求項3】 前記エッチングステップが、前記チャンバ中に配置された誘導プラズマに100から800Wの範囲のRF電力を加えるステップと、前記基板に電圧を印加して、50から300eVの範囲の基板バイアスを生じさせるステップとを含む、請求項1に記載のエッチング方法。

【請求項4】 前記パッシベーションステップが、前記チャンバ中に配置された誘導プラズマに1000から3000Wの範囲のRF電力を加えるステップと、前記基板に電圧を印加して、0から25eVの範囲の基板バイアスを生じさせるステップとを含む、請求項3に記載のエッチング方法。

【請求項5】 前記エッチングステップを、10〜100秒行い、請求項3に記載のエッチング方法。

【請求項6】 前記エッチングステップを、10〜100秒行い、請求項4に記載のエッチング方法。

【請求項7】 前記パッシベーションステップを、0.5〜3秒行い、請求項4に記載のエッチング方法。

【請求項8】 前記パッシベーションステップを、0.5〜3秒行い、請求項5に記載のエッチング方法。

【請求項9】 前記導入ステップが、チャンバ中にSF<sub>6</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、およびCHF<sub>3</sub>を導入するステップを含む、請求項1に記載のエッチング方法。

【請求項10】 前記チャンバ中のガス圧力が、0.1から10Paの範囲にある、請求項1に記載のエッチング方法。

【請求項11】 さらに、前記チャンバ中の圧力を変化させるステップを含む、請求項1に記載のエッチング方

法。

【請求項12】 前記導入ステップ中、前記混合ガスが、前記エッチングステップ中および前記パッシベーションステップ中に一定の流量で導入される、請求項1に記載のエッチング方法。

【請求項13】 エッチングステップ中の前記励起電力が、前記パッシベーションステップ中の励起電力より低い、請求項1に記載のエッチング方法。

【請求項14】 前記エッチングステップ中の前記基板バイアスが、前記パッシベーションステップ中の前記基板バイアスより低い、請求項1に記載のエッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、エッチング速度および選択性が増加される、好ましくはエッチングマスクで規定された基板の異方性プラズマエッチング方法に関する。この方法は、超小型電気機械システム(micro-electromechanical system、MEMS)ならびに超小型電子装置の製造のために適切に実施することができる。

【0002】

【従来の技術】特に単結晶シリコンに対する異方性プラズマエッチングは、基板の結晶方位あるいはドーピングのレベルの影響を受けずに加工することが可能である。また、この方法は、ドーピングされた、あるいはドーピングされていないポリシリコンに適用される。好ましい応用分野は、構造が高いアスペクト比をもつ、すなわち高い構造上の高さ対幅の比をもつ、MEMSの技術である。その他の例には、アクチュエータ、表面波フィルタ、遅延線等を製造するために、狭い溝と垂直な壁がエッチングされる表面波技術がある。その他の超小型電子技術の応用には、記憶セル、絶縁物、コレクタの接点等がある。

【0003】通常、異方性シリコンエッチングに用いられる反応性イオンエッチング(RIE)法は、比較的高いエネルギーのイオン(100eV以上)およびフッ素、塩素、あるいは臭素などの反応性ハロゲンを使用し、それらは、直接プラズマで用いられるか、あるいはCF<sub>4</sub>、CF<sub>3</sub>Br、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、CCl<sub>4</sub>、CHCl<sub>3</sub>などの対応する化合物から放出される。その結果得られるエッチング場所、すなわちエッチングされる領域のイオン衝撃が、消耗されるべきシリコンとラジカルとの反応を開始させる。側壁のエッチングは、イオンの指向性により最小限となる。

【0004】問題は、シリコン除去速度(すなわちエッチング速度)を増すために、プラズマ放電と結び付けられる電力を増加することにより、プラズマ密度を高めようとした場合に起こる。これはプラズマ放電用の電源の電力を増すか、あるいは基板に印加されるバイアス電圧の値を増すことにより、達成することができる。しかしながら電力を増すと、生成されるイオンはより高温にな

り、またイオンの動く方向はよりランダムになる。その結果、より多くのイオンおよびラジカルが、トレンチの壁によって消耗され、これはエッチング異方性の避けることのできな損失を伴うことになる。この問題を克服するためには、エッチング速度を下げねばならず、その結果処理量は低下する。

【0005】遭遇するその他の問題は、マスクの劣化である。エッチング速度が低下すると、エッチング時間、したがってマスクの露出時間が増加し、より急速なマスクの劣化、すなわち選択性の低下につながる。

【0006】米国特許第5,501,893号には、エッチングと重合の交互するステップを含むエッチング方法が開示されている。この重合ステップの目的は、その前のエッチングステップで露出した表面にポリマー層を与え、一時的なエッチングストップを形成する。したがって、側壁はエッチングステップ中にエッチングから保護される。しかしながら、それぞれエッチングおよび重合ステップ中で異なるガス混合物が反復されるように、エッチングおよび重合のステップ中で導入されるガス混合物は、異なっている。エッチングステップでは、ガス混合物は $\text{SF}_6$ およびArを含み、重合ステップでは、ガス混合物は $\text{CHF}_3$ およびArを含む。

【0007】異なるガスを反復させることに伴う問題は、エッチング/堆積サイクルの時間比が、ガス混合物の速度に依存し、逐次変化して一様に影響を及ぼす。また、種がエッチングされたトレンチの底に達する時間は、トレンチが異なるサイズの開口部をもつと著しく変化する。また、この方法は、一般により複雑な装置を必要とし、サイクルの中に2つの異なるガス混合物を導入するように制御する。

【0008】ポリマーを生成する不飽和モノマーと、フッ素、酸素、あるいはヨウ素のラジカルとを共存させて、プラズマをできるだけ冷却させることが望ましい。イオン化によって十分なエネルギーレベルは、個々のガスに対して異なる。場合によっては、ポリマー生成ガス( $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{CHF}_3$ )に対する活性化エネルギーは、ラジカル生成ガス( $\text{SF}_6$ )に対するものより2倍大きい。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、エッチングおよびパッシベーションの両者に対する最適条件に到達するために、反応性ガスの活性化エネルギーの違いを用いることにより、また高アスペクト比および高選択性のエッチング方法を生じさせるために、違い速度でこれらの条件を交互させることにより、エッチングすべきシリコン表面の処理を高める方法を確立することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の目的は、下記ステップを含む、基板（一般にはシリコン）の異方性プラズマエッチング方法を提供することにより達成され、そ

のステップは、

a) 電磁石電源に接続された電極上に、選択的にエッチングすべき表面を有する基板を置くステップと、

b) エッチングガス( $\text{SF}_6$ )およびパッシベーションガス( $\text{CHF}_3$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 等)からなる混合ガスを、処理チャンバ中に導入するステップと、

c) 混合ガスを、エッチング用のイオンおよびラジカルを含むプラズマを生成するのに十分な、より低い電力(100~800W)の電磁放射で励起させるステップと、

d) ステップc)と同時に、電磁石電源を介して基板に高いバイアス電圧(50~500eV)を印加し、きわめて高い異方性エッチングを生じるステップと、

e) プラズマ中に不飽和モノマーを生成させ、保護用ポリマーコーティングを形成するために、高電力(1000~3000W)の電磁放射で混合ガスを励起するステップと、

f) ステップe)と同時に、基板に低いバイアス電圧(0~25eV)を印加し、エッチングすべき表面の露出した側壁に絶縁保護ポリマーコーティングを形成するステップと、

ステップc)およびd)と、ステップe)およびf)とを交互させ、現在他の方法を用いて行われているものよりも、高いエッチング速度および選択性異方性エッチングを行うステップとを含む。

【0011】本発明で用いた方法は、冷却媒体としてヘリウムガスを用いることなく、基板をエッチングすることを可能にする。これは、より低い電力が、エッチングガスの励起に用いられ、工程中に発生する熱をより少なくすることになるためである。

【0012】さらに本発明の利点は、工程中に、混合ガスの一定の流れが処理チャンバ中に注入され、その結果、より安定かつ再現性のある工程になることである。

【0013】以下、本発明について添付の図面と関連して詳細に説明する。

【0014】

【発明の実施の形態】以下は、図1および図2aから図2cに関連する本発明の詳細な説明である。図1を参照すると、装置は、エッチングチャンバ10を含む。基板14を保持する基板ホルダ12、およびチャンバ10の上部近くに設けられた誘導カプラ16が、チャンバ10の中に設けられる。基板ホルダ12は、基板14のバイアス用振動器18と電気的に接続された電極であり、振動器は、電源19および整合回路網21を含む。処理ガスをチャンバ10に導入するため、注入口の管路20が、チャンバ10の上部に位置している。処理ガスは、ガス容器22、24、および26の中に貯蔵される。チャンバ10への処理ガスの流量は、制御バルブ28により制御される。プラズマ誘導は、RF電源30および結合される整合回路網32により電力を供給された誘導カプラ16に

より生じる。チャンバ10中の圧力は、機械式ポンプ34、ターボ分子ポンプ36、およびスロットルバルブ38により、従来の方法で制御される。もちろん本発明は、この特定の装置に限定されるものではない。

【0015】次に図2a〜図2cと関連して、基板のエッチング方法を説明する。シリコン基板40、および異方性のエッチングを施そうとしているシリコン基板40の領域を露出するエッチングマスク42を含む基板14を、基板ホルダ/電極12上に置き、第1エッチングステップにかける。このステップにおいては、好ましくは100から400 sccmの範囲の一定流量、および0.1から10 Paの範囲の圧力をもち、エッチングガスとパッシベーションガス（例えばSF<sub>6</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、およびCHF<sub>3</sub>）とを含んでいる混合ガスを、チャンバ10に導入する。プラズマは、好ましくは100から800 Wの範囲の比較的低いRF電力を、電源30から印加することにより誘導される。同時に、50から500 eV、好ましくは80から300 eVの範囲の比較的高い電場を生じさせるために、バイアス電圧が、基板の発振器18により与えられる。プラズマ誘導のために印加した低いRF電力が、非常に高いレートをも有する指向性エッチングを与える。特にプラズマは、イオンの指向性の制御が可能なように印加された低いエネルギーにより、「低温」である。また、基板14の高電位は、エッチングされる表面に向かってイオンを強く加速する。両方の要因が、イオンの優れた指向性を生じ、結果として高い異方性エッチングを生じる。図2aに、シリコン基板40のエッチングされた部分44を示す。

【0016】一定時間、例えば10〜100秒後、プラズマの高エネルギー励起状態を作り出すために、電源30を比較的高い電力、好ましくは1000から3000 Wの範囲に切り替え、また基板の発振器により発生したバイアス電位を、比較的低い、あるいはほぼゼロの値（すなわち0〜25 eV）に下げた。プラズマの高エネルギー励起は、ポリマー層46の形成に導着する条件を作り出す。さらに、種の等方性運動は、図2bに示すように、トレンチの底のポリマー層46の厚さを隔壁上の厚さと同じにする。この間、基板14上の低いバイアスにより、いかなるエッチングも妨げられない。一定時間、例えば0.5〜3秒後、図2bに示すように、所定の厚さの保護ポリマー層46が、トレンチの壁に形成される。この保護ポリマー層46は、上記で論じられた方法で行うこれに続くエッチングステップ中、その前のエッチングステップで形成されたトレンチの壁が侵食されるのを妨げる。

【0017】特に、次のエッチングステップ中、その前にエッチングされた隔壁は、ポリマー層46により保護されたままであり、一方トレンチの底のポリマー層は、図2cの参照符号48で識別されるように、高いバイアス電位により加速される異方性のイオン衝撃により急速

に剥ぎ取られ、トレンチの基部でシリコンがさらにエッチングされることを可能にする。エッチングおよびパッシベーションステップは、トレンチが所望の深さに達するまで交互に繰り返される。

【0018】上記で論じた従来の方法と比べた場合、この方法にはいくつかの利点がある。具体的には、本発明により一定のガス混合物を連続的に導入する結果、種はより均一に分布することになる。これは基板の全体わたって、より優れた一様性を与える。これとは対照的に、ガスが反復される従来の場合、エッチング/堆積サイクルの時間比が、ガスの速度に依存し、逐次変化して一様性に影響を及ぼす。

【0019】さらに、反復されるガスを用いる場合、種がエッチングされたトレンチの底に到着する時間は、異なるサイズの開口部をもつトレンチに対しては著しく異なる。これは、異なるアスペクト比をもつトレンチに対し、達成される深さのばらつきを増加させる（Aspect Ratio Dependent Etch（アスペクト比依存性エッチング））。ガス混合物が一定な本方法の場合には、ガス組成は、異なるサイズの開口部をもつトレンチに対して均一であることになる。これはまた、一様性を改善する（マイクロロウディング効果）。

【0020】さらに、本発明の方法は、エッチングの間に用いられる低い電力と、堆積の間に用いられる低いバイアス電圧の組合せにより、マスク材料に対してきわめて高い選択性を提供する。

【0021】本発明の精神から逸脱することなく多くの変更を行うことができるので、前記の説明に含まれ、また添付の図面に示された全ての事例は、例示であって限定するものではないと解されることを意図している。例えば、本発明は、上記で論じたエッチングガスおよびパッシベーションガスのリストには限定されない。その他のシリコンエッチングガスには、CF<sub>4</sub>、NF<sub>3</sub>、NF<sub>3</sub>H、HBr、CCl<sub>4</sub>、CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>、CFCI<sub>3</sub>、Br<sub>2</sub>、Cl<sub>2</sub>、I<sub>2</sub>、HCl、CIF<sub>3</sub>、およびBCI<sub>3</sub>がある。また、その他のパッシベーションガスには、CH<sub>4</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、CH<sub>3</sub>Br、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>、およびC<sub>3</sub>F<sub>8</sub>がある。

【0022】これに加えて、エッチングおよびパッシベーションの作用を、チャンバ内の圧力を交互させることによって達成してもよい。特に、パッシベーションの間のポリマーの形成は、圧力により生じる。圧力が高いほどポリマーの形成は激しく、したがってパッシベーションの程度は大きい。対照的に、圧力が低いほどポリマーの形成は弱く、したがってパッシベーションの程度は小さい。同様に、エッチングの間の圧力の増加は、エッチングレートを増大し、一方圧力の減少は、エッチング速度を低下させる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に用いるエッチング装置を示す概略図である。

【図2 a】本発明の方法ステップを示す図である。

【図2 b】本発明の方法ステップを示す図である。

【図2 c】本発明の方法ステップを示す図である。

【符号の説明】

10 チャンバ

12 基板ホルダ

14 シリコン基板

16 誘導コアラ

18 発振器

20 管路

22、24、26 ガス容器

28 制御バルブ

30 RF電源

42 マスク

44 エッチングされた部分

46 保護ポリマー層

【図1】

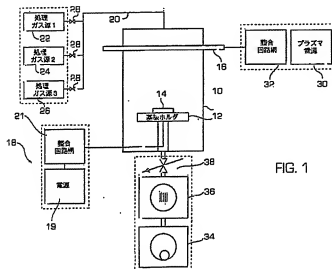


FIG. 1

【図2 a】

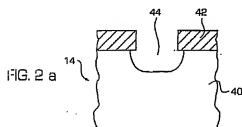


FIG. 2 a

【図2 b】

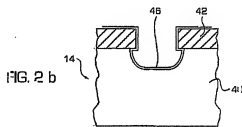


FIG. 2 b

【図2 c】

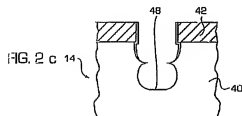


FIG. 2 c

フロントページの続き

(72)発明者 ケビン・ユイ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア・95132  
サン・ホウゼイ、トラファルガー・プレイ  
ス・3479

(72)発明者 マイケル・フエルドボーム  
アメリカ合衆国、カリフォルニア・94538  
フリーモント、モウリー・アベニュー  
4875、ナンバー・110

(72)発明者 ミシエル・ビューク  
フランス国、74009・アネシー・セデック  
ス、アブニユ・ドウ・プログミー・98、ボ  
ワツト・ボスタル・69

【 外 国 語 明 細 書 】

1. Title of Invention

METHOD OF ANISOTROPIC ETCHING OF SUBSTRATES

2. Claims

1. An anisotropic etching process for etching a silicon substrate comprising the steps of:

introducing a mixed gas containing etchant and passivating gases into a chamber with the silicon substrate to be etched;

etching said substrate in the presence of said mixed gas by controlling excitation power and substrate bias during a first period of time to remove material from the surface of said substrate and thereby provide an exposed surface;

passivating said substrate in the presence of said mixed gas by controlling excitation power and substrate bias during a second period of time to cover said exposed surface with a polymer layer, wherein said mixed gas is the same during said etching and passivating steps; and

repeating said etching step.

2. The etching process of claim 1, further comprising the step of repeating said passivating step

3. The etching process of claim 1, wherein said etching step includes the steps of applying RF power to an inductive coupler disposed in said chamber in the range of 100 to 800 W and applying a voltage to said substrate to produce a substrate bias in the range of 50 to 300eV.

4. The etching process of claim 3, wherein said passivating step includes the steps of applying RF power to an inductive coupler disposed in said chamber in the range of 1000 to 3000 W and applying a voltage to said substrate to produce a substrate bias in the range of 0 to 25eV.



5. The etching process of claim 3, wherein said etching step is carried out for a period ranging from 10 to 100 seconds.

6. The etching process of claim 4, wherein said etching step is carried out for a period ranging from 10 to 100 seconds.

7. The etching process of claim 4, wherein said passivating step is carried out for a period ranging from 0.5 to 3 seconds.

8. The etching process of claim 5, wherein said passivating step is carried out for a period ranging from 0.5 to 3 seconds.

9. The etching process of claim 1, wherein said introducing step includes the step of introducing  $\text{SF}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ , and  $\text{CHF}_3$  into the chamber.

10. The etching process of claim 1, wherein a gas pressure in said chamber is in the range of 0.1 to 10 Pa.

11. The etching process of claim 1, further comprising the step of varying the pressure in said chamber.

12. The etching process of claim 1, wherein during said introducing step said mixed gas is introduced at a constant rate during said etching steps and said passivating step.

13. The etching process of claim 1, wherein said excitation power during the etching steps is lower than the excitation power during said passivating step.

14. The etching process of claim 1, wherein said substrate bias during said etching steps is lower than said substrate bias during said passivating step.

### 3. Detailed Description of Invention

#### BACKGROUND OF THE INVENTION

##### Field of the Invention

The invention relates to a method of anisotropic plasma etching of substrates preferably defined with an etching mask in which the etch rate and selectivity is increased. The method can be well implemented for manufacturing micro-electromechanical system (MEMS), as well as microelectronic devices.

##### Background of the Related Art

Anisotropic plasma etching, particularly for single crystal silicon, can work independent of crystal orientation of the substrate or doping level. This method also applies to doped or undoped polysilicon. Preferred fields of applications are MEMS technology, where structures have a high aspect ratio, i.e., a high structural height to width ratio. Other examples include surface wave technology, where narrow grooves and vertical walls are etched to produce actuators, surface wave filters, delay lines, etc. Additional microelectronics applications include storage cells, insulation, collector contacts, etc.

The Reactive Ion Etching (RIE) processes which are commonly used for anisotropic silicon etch employ relatively high energy ions ( $\geq 100\text{eV}$ ) and reactive halogens, such as fluorine, chlorine or bromine, which are used directly in the plasma or are released from corresponding compounds, like  $\text{CF}_4$ ,  $\text{CF}_3\text{Br}$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CHCl}_3$ . The resulting ion bombardment of the etching ground, i.e., the area to be etched, initiates the reaction of the radicals with the silicon to be depleted. The etching of the sidewalls is minimal due to the directionality of the ions.

Problems occur when, to increase the speed of silicon removal (i.e., the etch rate), one tries to enhance the plasma density by increasing the power coupled to the plasma discharge. This can be accomplished by either increasing the power of the source for the plasma discharge or by increasing the value of the polarization voltage applied to the substrate. However, as the power is increased more hot ions are produced and the direction of ion movement becomes more random. The results is that more ions and radicals are depleted by the walls of the trenches, with the inevitable loss of anisotropy of the etch. To overcome this problem, one must reduce the etch rate, resulting in the loss of the throughput.

An additional problem encountered is mask degradation. As etch rate is reduced, etch time, and therefore mask exposure time, are increased, leading to more rapid mask degradation, i.e., reduced selectivity.

U.S. Patent No. 5,501,893 discloses an etching method that includes alternating etching and polymerizing steps where the purpose of the polymerizing step is to provide a polymer layer on the surfaces that were exposed in the previous etching step to form a temporary etch stop. Thus the side walls are protected from etching during the etching steps. However, the gas mixtures introduced during the etching and polymerizing steps are different such that different gas mixtures are cycled during the respective etching and polymerizing steps. In the etching step the gas mixture includes  $\text{SF}_2$  and Ar and in the polymerizing step the gas mixture includes  $\text{CHF}_3$  and Ar.

The problem with cycling different gases is that the time ratio of the etch deposition cycle depends on the speed of the gas mixtures and varies from point to point, affecting the uniformity. Also, the time for species to arrive at the bottom of

the etched trench varies drastically for trenches having different sized openings. Also, this method typically requires more complex hardware and controls to introduce the two different gas mixtures in cycles.

It is desirable to make the plasma as cold as possible with coexisting polymer-producing unsaturated monomers and fluorine, bromine or iodine radicals. The energy level sufficient for ionization is different for each gas. In certain cases, the activation energy for polymer-producing gases ( $C_4F_8$ ,  $CHF_3$ ) is two times higher than for radical producing gases ( $SF_6$ ). The object of the invention is to establish a method for enhancing the treatment of the silicon surface being etched, by using the differences in the energies of activation of the reactive gases to arrive at optimal conditions for both etching and passivation, and alternating those conditions at a high rate to produce a high aspect ratio, and high selectivity etch process.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

The object of the present invention is accomplished by providing a method of anisotropic plasma etching of substrates (typically silicon) comprising the following steps:

- a) placing the substrate with the surface to be selectively etched on an electrode connected to an electro-magnet power source;
- b) introducing mixed gases consisting of an etching gas ( $SF_6$ ) and a passivation gas ( $CHF_3$ ,  $C_4F_8$ , etc.) into the processing chamber;
- c) exciting the mixed gases with lower power (100-800W) electromagnetic radiation sufficient to produce a plasma containing ions and radicals for etching;

d) concurrent with step (c), applying high polarizing voltage (50-500eV) to the substrate via its electromagnet power source to produce a highly anisotropic etch;

e) exciting the mixed gases with high power (1000-3000W) electromagnetic radiation to produce in the plasma unsaturated monomers for protective polymer coating formation;

f) concurrent with step (e), applying low polarizing voltage (0-25eV) to the substrate to form a conformal polymer coating on the exposed side walls of the surfaces being etched; and

alternating steps c) and d) with steps e) and f) to achieve an anisotropic etch with a high etch rate and selectivity than is currently being achieved using other methodologies.

The method used in this invention enables the substrate to be etched without using helium gas as a cooling medium. This is because lower power is used to excite the etching gas resulting in less heat being generated during the process.

A further advantage of this invention is that a constant flow of mixed gas is injected into the process chamber during processing, resulting in a process that is more stable and repeatable.

The invention is described in detail below in conjunction with the attached drawings.

**DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT**

The following is a detailed description of the invention with reference to Figs.

1 and 2(a) to 2(c). Referring to Fig. 1, the device includes an etching chamber 10. Provided within the chamber 10 is a substrate holder 12 for holding substrate 14 as well as an inductive coupler 16 provided near the top of the chamber 10. The substrate holder 12 is an electrode which is electrically connected to generator 18, including a power supply 19 and a matching network 21, for polarizing the substrate 14. Located at the top of the chamber is an inlet line 20 for introducing process gases into the chamber. The process gases are stored in gas tanks 22, 24 and 26. The flow rate of the process gases into the chamber 10 is controlled by a control valves 28. The plasma stimulation is provided by inductive coupler 16 powered by an RF power source 30 and an associated matching network 32. Pressure within the chamber 10 is controlled by mechanical pump 34, turbo-molecular pump 36 and throttle valve 38, in the conventional manner. It is of course understood that the invention is not limited to this particular device.

The following is a description of the process of etching the substrate with reference to Figs. 2(a) to 2(c). The substrate 14, including a silicon substrate 40 and an etching mask 40 that exposes the regions of the silicon substrate 40 that are intended to be anisotropically etched, is placed on the substrate holder/electrode 12 and subjected to the first etching step. In this step, a mixture of gases containing etchant and passivating gases (e.g.,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ , and  $\text{CHF}_3$ ) with a certain flow rate, preferably in the range of 100 to 400 sccm and pressure in the range of 0.1 to 10Pa, is

introduced into the chamber 10. The plasma is stimulated by applying a relatively low RF power, preferably in the range of 100 to 800W, from the power source 30. At the same time, a polarization potential is provided by the substrate generator 18 to produce an electrical field of a relatively high value in the range of 50 to 500eV, and preferably 80-300eV. The low RF power applied for plasma stimulation provides the directional etch with an extremely high rate. Specifically, the plasma is "cold" due to the low energy applied so that the directionality of the ions can be controlled. Also, the high potential of the substrate 14 provides strong acceleration of the ions toward the etched surface. Both factors provide excellent directionality of the ions, resulting in a high anisotropic etch. The etched portion 44 of the silicon substrate 40 is shown in Fig. 2(a).

After a certain period of time, e.g., 10 to 100 sec, the power source 30 switches to a relatively high power, preferably in the range of 1000 to 3000W, to create high energy excitation of the plasma and the polarization potential developed by the substrate generator is reduced to a relatively low, or even zero, value (i.e. 0-25eV). High energy excitation of the plasma creates a condition that results in the formation of a polymer layer 46. Further, isotropic movement of species causes the thickness of the polymer layer 46 on the bottom of the trench to be the same as the thickness on the sidewalls, as shown in Fig. 2(b). During this time, the low polarization on the substrate 14 prevents any etching. After a certain time, e.g., 0.5 to 3 sec, the protective polymer layer 46 of a predetermined thickness is formed on the trench walls, as shown in Fig. 2(b). This protective polymer layer 46 prevents erosion of the trench walls that were formed in the previous etching steps during the subsequent etching step, performed in the manner discussed above.

Specifically, during the next etching step the previously etched sidewalls remain protected by the polymer layer 46, while the polymer layer on the bottom of the trench is rapidly stripped by the anisotropic bombardment of the ions that are accelerated by the high polarizing potential, allowing the silicon at the base of the trench to be further etched, as identified by reference numeral 48 in Fig. 2(c). The etching and passivating steps are alternately repeated until the trench reaches the required depth.

There are several advantages of this process when compared to the conventional process discussed above. In particular, the continuous introduction of a constant mixture of gases according to the present invention results in a more even distribution of species. This provides better uniformity across the substrate. In contrast, in the conventional case, where gases are cycled, the time ratio of the etch/deposition cycle depends on the speed of the gases and varies from point to point, affecting the uniformity.

Further, when using the cycled gas method, the time for the species to arrive at the bottom of the etched trench varies drastically for trenches with different sized openings. This increases the variation in the depths achieved for trenches with different aspect ratios (Aspect Ratio Dependent Etch). In the present case where the gas mixture is constant, the gas composition will be uniform for trenches with different size openings. This also improves the uniformity (microloading effect).

Further, the method of the present invention provides very high selectivity to the mask material, due to the combination of low power used during the etch and low polarization voltage used during deposition.



Since numerous changes can be made without departing from the spirit of the invention, it is intended that all matter contained in the foregoing description and shown in the accompanying drawings shall be interpreted as illustrative and not in a limiting sense. For example, the invention is not limited to the list of etchant and passivation gases discussed above. Additional silicon etching gases include  $\text{CF}_4$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{NF}_3\text{HF}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CFCI}_3$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{ClF}_3$  and  $\text{BCl}_3$ . Also, additional passivation gases include  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_2\text{F}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{Br}$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_2\text{F}_4$ , and  $\text{C}_3\text{F}_6$ .

In addition, the etch or passivation effect may be achieved by alternating the pressure in the chamber. Specifically, the polymer formation during passivation is effected by the pressure. The higher the pressure the stronger the polymer formation and hence the greater the degree of passivation. In contrast, the lower the pressure the weaker the polymer formation and hence the lower the degree of passivation. Similarly, an increase in pressure during etching increases the etching rate, while a decrease in pressure decreases the etching rate.

#### 4. Brief Description of Drawings

Fig. 1 is a schematical view showing the etching device for use in the present invention.

Figs. 2(a) to 2(c) are views showing the process steps of the present invention.

Fig. 1

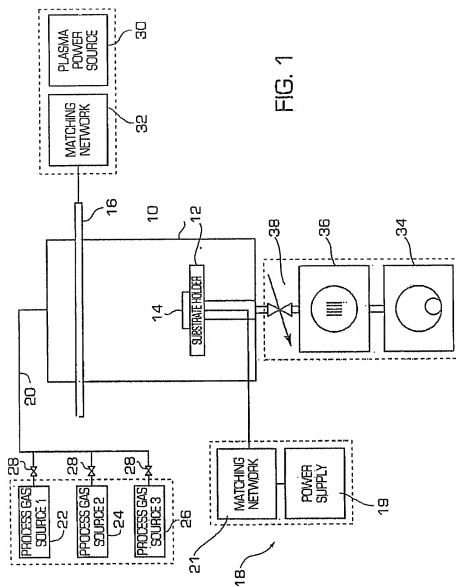


FIG. 1

Fig. 2 (a)

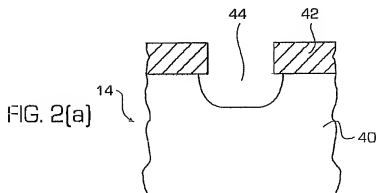


Fig. 2 (b)

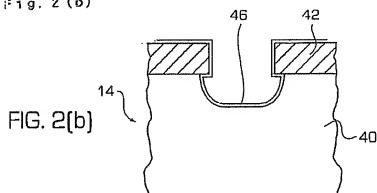
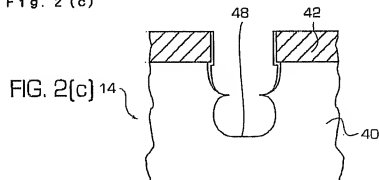


Fig. 2 (c)



## 1. Abstract

A method of plasma etching of silicon that utilizes the plasma to provide laterally defined recess structures through a mask. The method is based on the variation of the plasma parameters to provide a well-controlled anisotropic etch, while achieving a very high etch rate, and a high selectivity with respect to a mask. A mixed gas is introduced into the vacuum chamber after the chamber is evacuated, and plasma is generated within the chamber. The substrate's surface is exposed to the plasma. Power sources are used for formation of the plasma discharge. An integrated control system is used to modulate the plasma discharge power and substrate polarization voltage levels.

## 2. Representative Drawing

Fig. 1